

相控阵雷达在重庆江北机场强对流天气的应用讨论

吴胜男, 谷 粒

中国民用航空西南地区空中交通管理局重庆分局, 重庆

收稿日期: 2025年10月28日; 录用日期: 2026年1月13日; 发布日期: 2026年1月22日

摘要

本文围绕重庆市相控阵雷达在江北机场强对流天气监测的初步应用展开讨论, 分析其产品形式和实际监测效果。重庆市采用3台广东纳睿X波段双极化相控阵雷达网, 覆盖机场及周边1~5区, 单雷达30秒完成一次扫描, 组网成图需1分钟, 融合区县单站雷达数据后形成覆盖全重庆的融合产品, 雷达图更新频率提升至3分钟, 但存在距离越远衰减越大和DBZ强度与实况可能有差异的局限。基于该雷达数据搭建的《强对流天气监测预警系统》, 可提供反射率、双偏振、风场等多类产品及三维可视化功能。通过对比2024年5月25日夜间、6月20日上午两次雷雨过程的新旧雷达产品发现, 相控阵融合产品在近雷达区域反射率因子与旧S波段雷达拼图接近, 远距区域对弱回波捕捉能力不足; 其配套的《精细化气象短临预报系统》每6分钟更新未来3小时外推结果, 但稳定性较差, 并非起报时间越临近预报越准确, 需结合其他外推结果综合判断。研究成果可为江北机场强对流天气监测预报提供技术参考。

关键词

相控阵雷达, X波段, 强对流, 天气监测

Discussion on the Application of Phased Array Radar in Severe Convective Weather Monitoring at Chongqing Jiangbei Airport

Shengnan Wu, Li Gu

Chongqing Sub-Bureau of Southwest China Regional Air Traffic Management Bureau of Civil Aviation Administration of China, Chongqing

Received: October 28, 2025; accepted: January 13, 2026; published: January 22, 2026

Abstract

This paper examines the initial use of Chongqing's phased array radar for monitoring severe convective weather at Jiangbei Airport, analyzing its products and performance. Chongqing uses a network of three X-band dual-polarization phased array radars (Guangdong Nari) covering the airport and surrounding Areas 1~5. A single radar scans in 30 seconds; the network generates combined maps in 1 minute. Fused with district/county single-station data, it creates full-Chongqing products with 3-minute updates. Limitations: greater attenuation at longer distances and possible DBZ discrepancies from actual weather. *The Severe Convective Weather Monitoring and Early Warning System* (based on this radar) provides reflectivity, dual-polarization, wind field products, and 3D visualization. Comparing old and new radar data from two 2024 thunderstorms (May 25 night, June 20 morning), the phased array fusion product's reflectivity is close to legacy S-band mosaic near the radar but lacks weak echo capture at long distances. Its supporting *Refined Meteorological Short-Term Nowcasting System* updates 3-hour forecasts every 6 minutes but is unstable. Closer initiation times do not guarantee better accuracy; other extrapolations should be used for judgment. Results offer technical reference for Jiangbei Airport's severe convective weather monitoring and forecasting.

Keywords

Phased Array Radar, X-Band, Severe Convection, Weather Monitoring

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

气象雷达已广泛应用于天气预报以及农业、水文、林业、交通、海洋、航空航天等领域的专业气象服务。常规的气象雷达主要包括有测雨雷达、测云雷达以及测风(风廓线)雷达等。天气雷达是一种典型的气象雷达,也称测雨雷达,是用于警戒和预报中、小尺度降雨天气系统的主要探测工具。它通过方向性很强的天线向空间发射电磁脉冲波,利用雨滴、云状滴、冰晶、雪花等对电磁波的散射作用来探测大气中的降水或云中大滴的浓度、分布,以及台风、局部地区强风、冰雹、暴雨和强对流云体等,并能监视天气移动和演变,了解天气系统的结构(尤其是灾害性天气)的变化和特征。

自第一部天气雷达问世以来,社会经济的持续发展和科学技术的进步,推动了天气雷达技术不断创新,经历了常规模拟、数字化、多普勒、多普勒双偏振等发展阶段[1][2]。天气雷达的核心部件发射机系统也从磁控管、速调管发展到全固态、相控阵技术。近年来,相控阵天气雷达技术迅速发展,在性能上实现了突破,特别是在国内,展现出强劲的发展势头[3]-[5]。国家气象局为地方投入大量的成本来建设相控阵雷达,尤其是近期刚刚投入使用的重庆市相控阵雷达也为江北机场强对流天气监测发挥了巨大的作用。本文重点对重庆市相控阵雷达在江北机场强对流天气监测进行总结分析,希望为预报员在实际工作中提供基础技术指导。

2. 重庆市相控阵雷达概况

2.1. 组网和融合产品形式

重庆市气象局采用的是广东纳睿雷达科技股份有限公司生产的X波段双极化相控阵天气雷达,它能

够很好解决强对流天气精细化监测的难题。如图 1 所示重庆市气象局的相控阵雷达一共三台, 分别位于龙凤桥, 健龙、南泉。建设高度距离海平面 700 m 左右, 采用 X 波段, 也就是毫米级波段, 发射频率较高。但是单个小雷达的探测距离只有 60 km。整个天气雷达组网范围, 以我们本场为中心向北可以探测到 70 km。西南方向它是到 100 km, 向东探测到 50 km, 基本上涵盖了本场 1~5 区。三台小雷达 30 秒完成一次扫描, 组网成图需要一分钟。图 2 所示把相控阵雷达的组网产品和区县的单站雷达产品进行叠加拼图可以得到最后的融合产品, 其范围包括整个重庆市。在相控阵雷达的建设下新的气象拼图比原有气象拼图时间分辨率大大提高, 只需要三分钟即可更新一次雷达图。它的缺点就是: 1) 距离越远, 衰减越大, 2) 拼图显示的 DBZ 强度与实际天气可能有差异。实际工作中, 还要借助于其他探测手段进行验证。表 1 为相控阵天气雷达的有关参数。

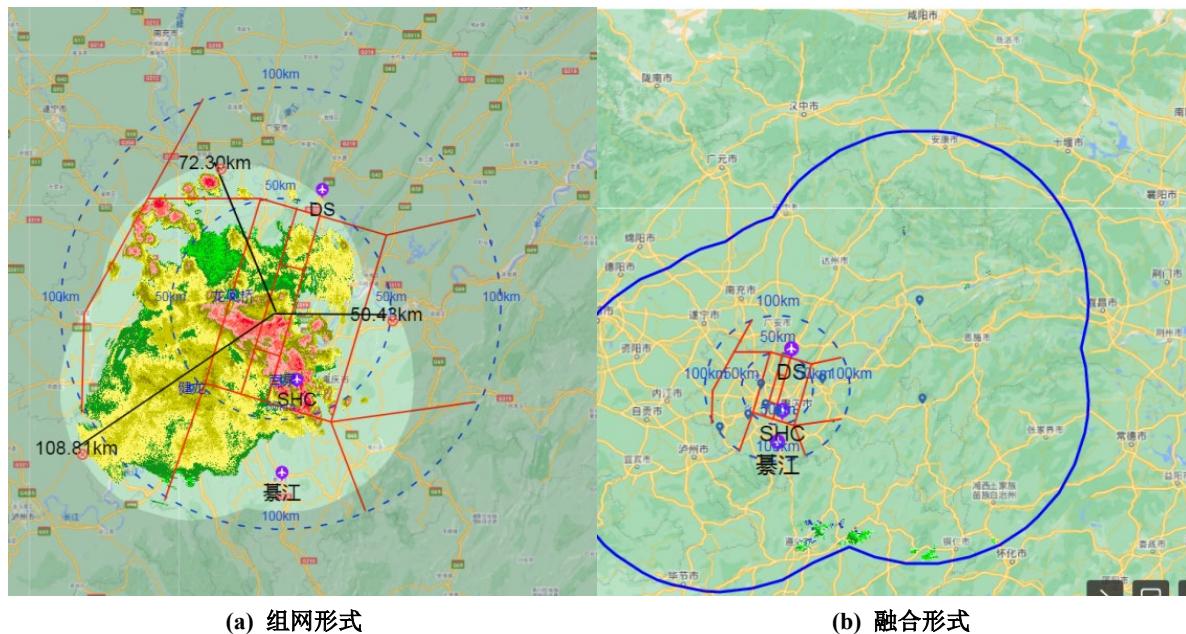


Figure 1. Phased array radar network diagram and phased array radar fusion diagram

图 1. 相控阵雷达组网图和相控阵雷达融合图

Table 1. Parameter table of phased array weather radar
表 1. 相控阵天气雷达参数表

| 型号 | ETWS-X01 | ETWS-X02 |
|-------|----------------------|----------------------|
| 技术体制 | 双偏振固态有源相控阵、数字多波束 | |
| 工作频率 | 9.3~9.5 GHz | |
| 峰值功率 | ≥320 W | ≥320 W |
| 天线阵元数 | 64 | 128 (64H, 64V) |
| 探测距离 | ≥60 KM | ≥60 KM |
| 距离分辨率 | ≤30 m | ≤30 m |
| 波束 | ≥16 | ≥16 |
| 波束宽度 | 水平 1.6°、垂直 1.6° | 水平 1.6°、垂直 1.6° |
| 体扫范围 | 水平: 0~360° 垂直: 0~90° | 水平: 0~360° 垂直: 0~90° |
| 体扫时间 | 30 s/60 s (可调) | 30 s/60 s (可调) |
| 整机功耗 | ≤3 kw | ≤3 kw |
| 天线尺寸 | 长 ≤ 1.2 m、宽 ≤ 1.4 m | 长 ≤ 1.2 m、宽 ≤ 1.4 m |

2.2. 强对流天气预警平台产品介绍

基于高时空分辨率的相控阵雷达数据, 纳睿雷达研发了用于强对流监测预警的《强对流天气监测预警系统》。《强对流天气监测预警系统》是使用 WebGIS 和 WebGL 技术开发的一款基于 B/S 架构的气象综合应用软件。系统以 X 波段双极化相控阵天气雷达精细化观测数据为核心, 融合多源气象数据, 支持雷达数据和多源气象数据的三维可视化、强对流天气预警、天气智能分析等多种功能, 为用户提供智能化、一站式数据应用服务, 实现天气信息的全局感知和一屏显示。《强对流天气监测预警系统》软件可以提供: 基本产品(原始反射率、反射率、谱宽、径向速度)、双偏振产品、3D 产品、降雨产品、综合分析产品(组合反射率、回波顶高和底高)、强对流产品、粒子分类产品、零度层产品、风场产品。

3. 回波产品对比

重庆一年四季均有强对流天气, 但冬季发生强对流天气的频率很低, 尤其 1 月和 12 月, 仅有个别年份出现过雷暴和大风。明显的强对流天气始于 3 月, 2~8 月是强对流天气的多发期, 9 月以后强对流天气明显减少。重庆的强对流天气主要有雷电、雷雨大风、冰雹和短时强降水, 其中以雷暴天气对机场运行影响尤为重要。下面针对 2024 年 5 月 25 日夜间与 6 月 20 日上午发生的两次雷雨过程进行讨论。

3.1. 新旧融合产品对比

针对 2024 年 5 月 25 日夜间至 26 日凌晨发生的一次典型雷雨天气过程, 研究中选取了多个关键时段(包括系统发展初期、强盛期及减弱期)的相控阵融合产品与旧 S 波段雷达拼图进行对比分析。从图 2~图 5 的多时段数据来看, 在雷达站周边 30 公里范围内的近距区域, 两种雷达产品的反射率因子数值吻合度较高, 尤其是对强回波中心($DBZ \geq 45 \text{ dBZ}$)的位置、强度及形态刻画基本一致, 表明相控阵雷达在近距离范围内对强对流核心区的监测精度可与传统 S 波段雷达媲美。然而, 随着探测距离增加(超过 50 公里后), 差异逐渐显现: 相控阵雷达融合产品的反射率因子普遍低于旧 S 波段雷达拼图, 且对弱回波(DBZ 在 15~30 dBZ 之间)的捕捉能力明显不足——部分在旧雷达图中可识别的分散性对流回波, 在相控阵产品中出现信号衰减甚至消失的现象。这一特征与 X 波段雷达的物理特性密切相关: 由于其工作频率较高(9.3~9.5 GHz), 电磁波在传播过程中受雨滴、云滴的散射与吸收作用更强, 导致远距离信号衰减显著。

对于江北机场而言, 这一局限可能对航路上的对流监测造成影响: 机场进离场航线中部分远距段(如东北方向 70 公里外的空域)若出现弱对流系统, 相控阵雷达可能无法及时捕捉, 从而给航班运行决策带来潜在风险。因此, 在实际业务中需结合卫星云图、地面自动站观测等多源数据进行补充验证, 以弥补相控阵雷达远距离弱回波探测的不足。

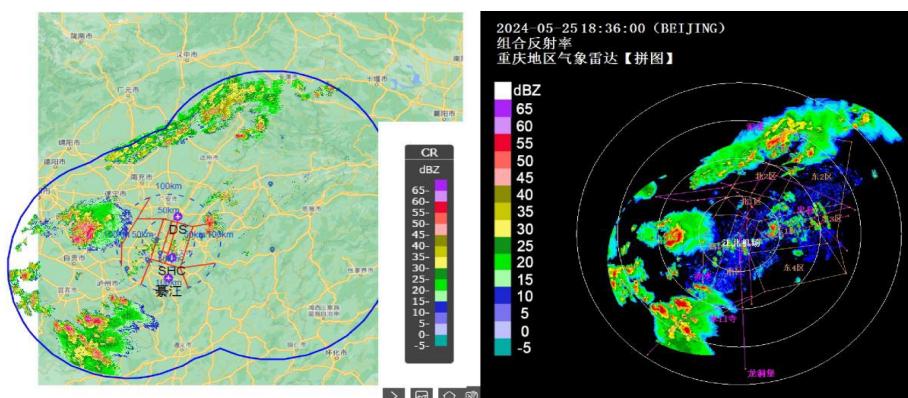


Figure 2. Comparison between phased array fusion products and legacy s-band radar mosaic (18:36 on May 25)

图 2. 相控阵融合产品和旧 S 波段雷达拼图对比(5 月 25 日 18:36)

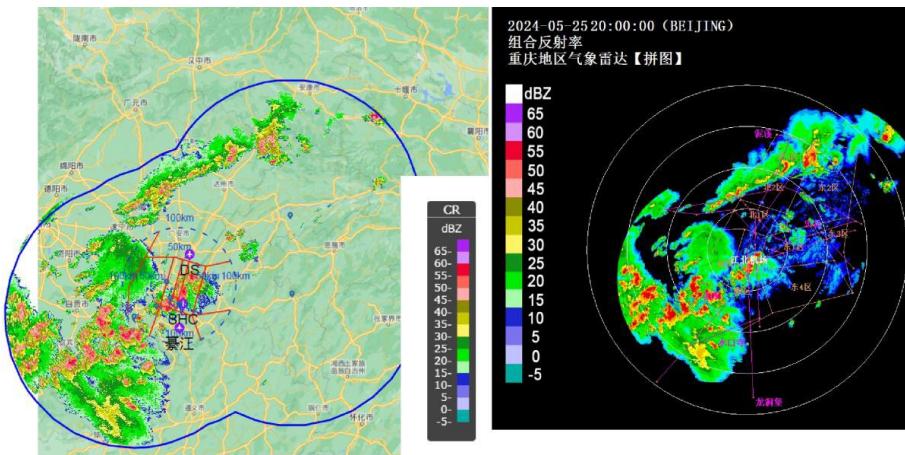


Figure 3. Comparison between phased array fusion products and legacy s-band radar mosaic (20:00 on May 25)
图 3. 相控阵融合产品和旧 S 波段雷达拼图对比(5 月 25 日 20:00)

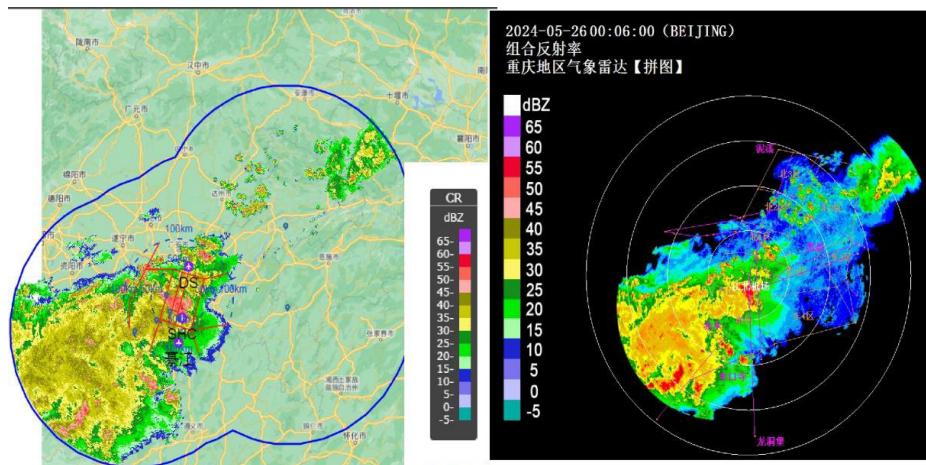


Figure 4. Comparison between phased array fusion products and legacy s-band radar mosaic (00:06 on May 26)
图 4. 相控阵融合产品和旧 S 波段雷达拼图对比(5 月 26 日 00:06)

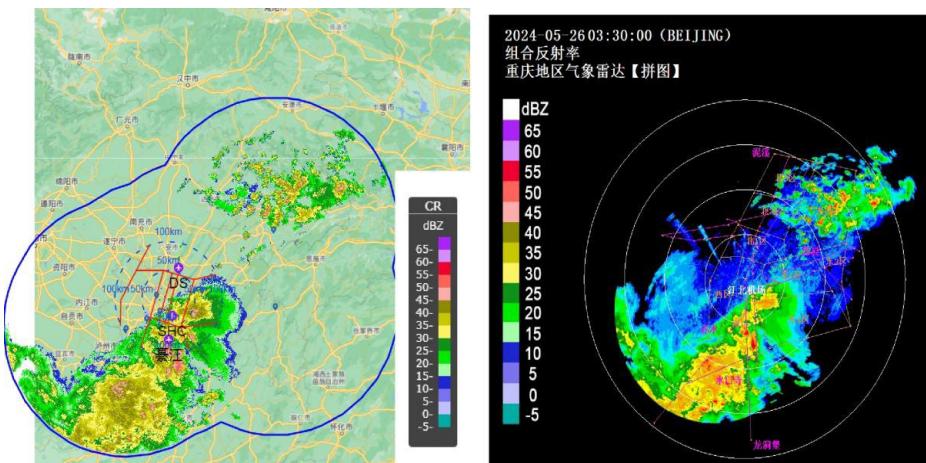


Figure 5. Comparison between phased array fusion products and legacy s-band radar mosaic (03:30 on May 25)
图 5. 相控阵融合产品和旧 S 波段雷达拼图对比(5 月 26 日 03:30)

3.2.3 小时雷达外推模拟对比

相控阵雷达的应用价值不仅体现在对当前雷暴天气的实时监测上, 其基于回波动态特征生成的雷达外推产品, 更为短临预报提供了关键技术支撑。配套的《精细化气象短临预报系统》(图 6)依托高时空分辨率的雷达数据, 实现了每 6 分钟更新一次未来 3 小时的降水落区、强度及移动趋势预报, 6 分钟的时间分辨率在理论上能够及时捕捉对流系统的快速演变。

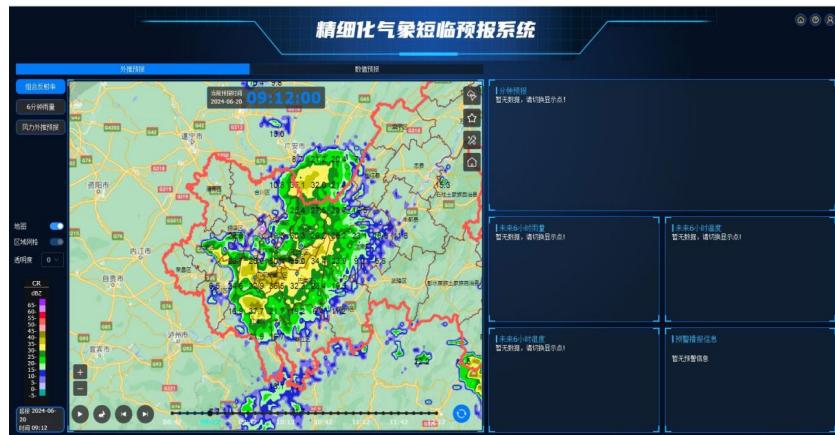


Figure 6. Refined meteorological short-term nowcasting system
图 6. 精细化气象短临预报系统

图 7~图 10 以 2024 年 6 月 20 日上午江北机场周边发生的一次强雷雨过程为例, 研究选取了 09:12、09:18、09:24、09:30 四个连续时次的起报数据, 对未来 3 小时的雷达外推结果进行跟踪分析。结果显示, 该系统的外推产品存在明显的稳定性不足问题: 不同时次的预报结果差异显著, 尤其是对雷暴单体的移动路径、合并和分裂趋势及强度变化的预测频繁调整。例如, 09:12 起报的预报显示未来 1 小时内机场西北方向将出现一条东北 - 西南走向的强回波带, 而仅 6 分钟后的 09:18 起报结果中, 该回波带的位置偏东约 10 公里, 强度也下调了 5~8 dBZ; 到 09:24 时, 预报又显示回波带将提前 30 分钟影响机场, 这种高频次的变动给预报员判断天气影响时段带来了困难。

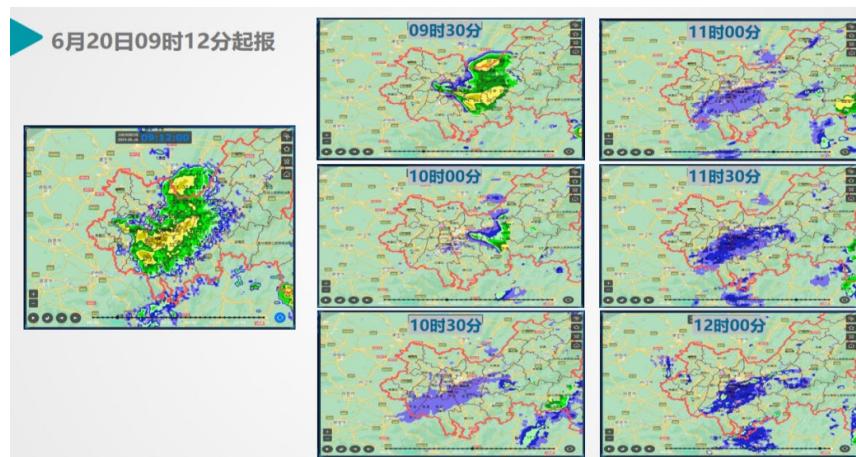


Figure 7. Refined meteorological short-term nowcasting system (forecasting the next 3 hours starting from 09:12)
图 7. 精细化气象短临预报系统(09:12 起报未来三小时情况)

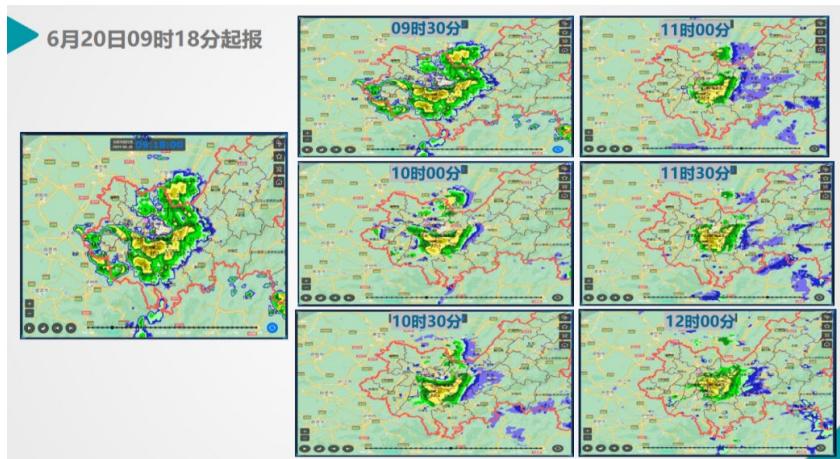


Figure 8. Refined meteorological short-term nowcasting system (forecasting the next 3 hours starting from 09:18)
图 8. 精细化气象短临预报系统(09:18 起报未来三小时情况)

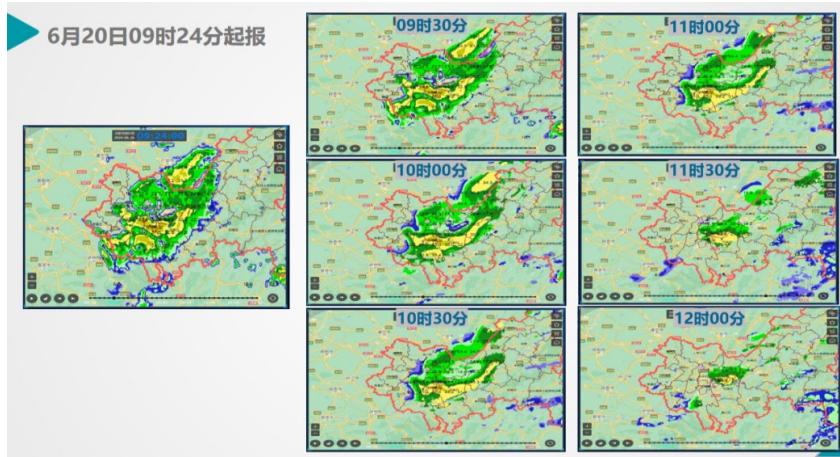


Figure 9. Refined meteorological short-term nowcasting system (forecasting the next 3 hours starting from 09:24)
图 9. 精细化气象短临预报系统(09:24 起报未来三小时情况)

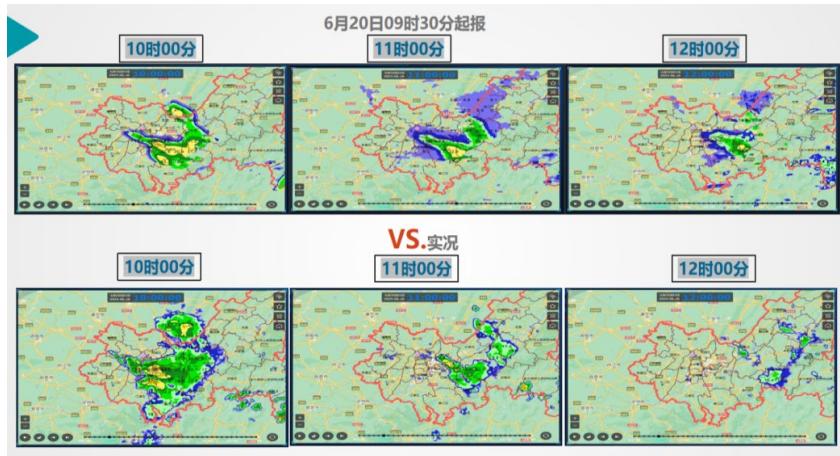


Figure10. Refined meteorological short-term nowcasting system (comparison between the 3-hour forecast starting from 09:30 and observed conditions)
图 10. 精细化气象短临预报系统(09:30 起报未来三小时情况与实况对比)

进一步对比实况数据发现, 09:12 起报的未来 3 小时外推结果与实际观测的雷暴移动速度、影响范围吻合度最高, 反而晚于该时次的 09:18、09:24、09:30 起报产品, 因过度响应雷达回波的短时波动(如局部回波的突然增强或减弱), 导致预报偏差更大。这一现象表明, 短临预报并非起报时间越临近就越准确, 当对流系统处于快速调整阶段时, 过于频繁的更新可能放大瞬时噪声对预报的干扰, 反而降低预报的可靠性。因此, 在实际业务应用中, 预报员需结合数值模式输出、卫星云图演变趋势及地面观测资料等多源信息, 对《精细化气象短临预报系统》的外推结果进行综合校验。尤其对于机场运行关键时段(如航班起降高峰), 应重点参考不同时次外推产品中的共性特征, 同时警惕短期波动带来的偏差, 以提升强对流天气短临预报的决策支撑能力。

4. 总结

本文聚焦重庆市相控阵雷达在江北机场强对流天气监测中的实践应用, 从设备部署、产品功能到实际监测效果展开梳理, 为机场气象预报工作提供关键参考, 总结如下:

1、重庆市气象局采用 3 台广东纳睿 X 波段双极化相控阵雷达(型号 ETWS-X01/ETWS-X02), 分别位于龙凤桥、健龙、南泉。单雷达探测距离 ≥ 60 km, 30 秒可完成一次扫描, 3 台雷达组网成图需 1 分钟, 覆盖机场及周边 1~5 区。组网产品通过 3 台雷达协同实现区域覆盖, 聚焦机场及周边重点区域的实时监测; 融合产品叠加组网数据与区县单站雷达数据, 覆盖全重庆市, 雷达图更新频率提升至 3 分钟, 大幅优于传统产品, 但存在远距离衰减大、DBZ 强度与实况可能偏差的不足, 需结合其他探测手段验证。依托《强对流天气监测预警系统》可提供原始反射率、双偏振、3D、风场、粒子分类等多类产品, 支持三维可视化与智能分析。

2、在实际监测效果上来看, 相控阵融合产品与旧 S 波段雷达拼图的对比显示, 在近雷达区域, 两者反射率因子数据接近, 监测一致性较好; 但距离雷达越远, 受相控阵雷达衰减影响, 其对弱回波的捕捉能力明显不足, 对航路上的对流天气监测存在局限, 需重点关注远距离区域的补充探测。短临预报系统性能配套的《精细化气象短临预报系统》每 6 分钟更新未来 3 小时雷达外推结果, 但系统稳定性较差, 预报结果变化频繁。09:12 起报的结果反而比后续时次更接近实况, 临近时次的频繁变化可能干扰预报员判断, 需结合多源外推结果综合决策。

总体而言, 重庆市相控阵雷达通过高时空分辨率与多维度产品, 显著提升了江北机场强对流天气的监测效率, 为机场运行安全提供了重要技术支撑。结合实际应用局限, 建议后续工作中: 一是加强远距离区域的辅助探测手段(如结合卫星数据、地面观测站), 弥补弱回波捕捉不足的问题; 二是优化短临预报系统算法, 提升外推结果稳定性, 减少对预报决策的干扰, 进一步发挥相控阵雷达的精细化监测优势。

参考文献

- [1] 李柏. 中国气象雷达技术发展及面临的挑战[J]. 气象科技进展, 2022, 12(5): 37-46.
- [2] 刘黎平, 吴林林, 吴狮, 等. X 波段相控阵天气雷达对流过程观测外场试验及初步结果分析[J]. 大气科学, 2014, 38(6): 1079-1094.
- [3] 许小峰. NEXRAD: 走进“新一代”——天气雷达探测技术的起步与发展[J]. 气象科技进展, 2020, 10(6): 2-7.
- [4] 刘黎平, 胡志群, 吴狮. 双线偏振雷达和相控阵天气雷达技术的发展和应用[J]. 气象科技进展, 2016, 6(3): 28-33.
- [5] 马辉, 陈哲, 李岳衡, 等. 相控阵天气雷达技术研究进展[J]. 气候变化研究快报, 2024, 13(1): 155-170.